

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA



**CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RELACIÓN
CON LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ARÁNDANO**



ING. CARLOS ENRIQUE FRÍAS ORTEGA

**Tesis presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:
Maestro en Agricultura Protegida**

Xalisco, Nayarit; Octubre de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
MAESTRÍA INTERINSTITUCIONAL EN AGRICULTURA PROTEGIDA



**CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RELACIÓN CON LA
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ARÁNDANO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para la obtención del grado de:

Maestro en Agricultura Protegida

Presenta:

Ing. Carlos Enrique Frías Ortega

Comité tutorial:

Director: Dr. Gelacio Alejo Santiago

Co-Director: Dr. Rubén Bugarín Montoya

Asesora: Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

Asesora: M. C. Circe Aidín Aburto González

Xalisco, Nayarit; Octubre 2018.

Xalisco, Nayarit; 16 de octubre de 2018

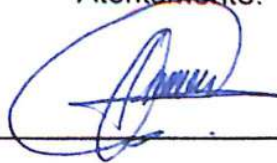
DR. JONATHAN CAMBERO CAMPOS
COORDINADOR DEL POSGRADO MIAP
P R E S E N T E

Los suscritos integrantes del Comité Tutorial para asesorar la tesis titulada: "CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ARÁNDANO", que presenta el C. Carlos Enrique Frías Ortega, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN AGRICULTURA PROTEGIDA

Atentamente:

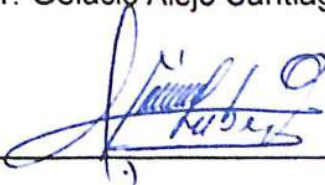
Director:



Dr. Gelacio Alejo Santiago

Co-

Director:



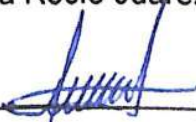
Dr. Rubén Bugarín Montoya

Asesora:



Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete

Asesora



M.C. Circe Aída Aburto González

CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE ARÁNDANO

Carlos Enrique Frías Ortega

RESUMEN

Se evaluó la producción y calidad de arándano azul cv Biloxi de bajo requerimiento de frío, así como la concentración nutrimental foliar, en cultivo hidropónico, empleando diferentes concentraciones de solución nutritiva. El ensayo se realizó en un invernadero tipo semitúnel, con cubierta de plástico, sistema de ventilación pasivo con apertura cenital y lateral, sin control climático. Se emplearon plantas de arándano de un año de edad, provenientes de cultivo in vitro, y fueron colocadas en contenedores de plástico flexible de 15 L de capacidad con roca basáltica volcánica roja como sustrato, a un marco de plantación de 2 m entre hileras y 0.5 m entre plantas. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, dando un total de ochenta plantas. Se evaluaron cuatro concentraciones de solución Steiner (25, 50, 75 y 100 %). Las variables evaluadas fueron producción por planta y calidad de fruto, considerando tamaño, pH, sólidos solubles totales (SST) y firmeza, así como la concentración nutrimental foliar de macronutrientes en cada etapa fenológica. Se concluyó que la concentración nutrimental foliar de N, K y Ca en el cultivo, varió proporcionalmente de acuerdo con la concentración de la solución nutritiva; no sucede lo mismo con P y Mg. La concentración de la solución nutritiva que más favoreció la producción y calidad de frutos de arándano cv. Biloxi, son las de baja concentración (25 y 50 %). Se reafirma que es un cultivo con bajo requerimiento nutrimental y que una conductividad eléctrica mayor a 1.0 dSm^{-1} da como resultado menor producción por planta.

Palabras clave: arándano azul, producción, calidad, solución nutritiva.

CONCENTRATION OF THE NUTRITIVE SOLUTION AND ITS RELATIONSHIP WITH THE PRODUCTION AND QUALITY OF CRANBERRY

Carlos Enrique Frias Ortega

ABSTRACT

The production and quality of blueberry cv Biloxi of low cold requirement was evaluated, as well as the foliar nutritional concentration, in hydroponic crop, using different concentrations of nutritive solution. The test was carried out in a half-tunnel type greenhouse, with plastic cover, passive ventilation system with zenith and lateral opening, without climate control. One-year-old cranberry plants, from in vitro crop, were used and placed in flexible plastic containers of 15 L capacity with red volcanic basalt rock as substrate, to a planting frame of 2 m between rows and 0.5 m between plants. The experimental design was completely random, with four treatments and five repetitions, giving a total of eighty plants. Four concentrations of Steiner solution (25, 50, 75 and 100%) were evaluated. The evaluated variables were production per plant and fruit quality, considering size, pH, total soluble solids (SST) and firmness, as well as the nutritional nutrient concentration of macronutrients in each phenological stage. It was concluded that the foliar nutritional concentration of N, K and Ca in the crop varied proportionally according to the concentration of the nutrient solution; the same does not happen with P and Mg. The concentration of the nutritive solution that most favored the production and quality of cranberry fruits cv. Biloxi, are those of low concentration (25 and 50%). It is reaffirmed that it is a crop with low nutritional requirements and that an electrical conductivity greater than 1.0 dSm^{-1} results in lower production per plant.

Keywords: blueberry, production, quality, nutritive solution.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres Sergio Enrique Frías Urzúa y Olivia Ortega Carrillo, por darme ese apoyo incondicional y la motivación por salir adelante, por nunca dejarme solo y estar para mí siempre que los necesité.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el financiamiento económico para la realización de mis estudios maestres.

A la Unidad Académica de Agricultura (UAA) por facilitarme sus instalaciones y material para el desarrollo de mi investigación.

Al MIAP (Maestría Interinstitucional en Agricultura Protegida) y su núcleo académico básico, así como a su programa, por darme la oportunidad para realizar mis estudios.

Dr. Gelacio Alejo Santiago, por su gran trabajo en la dirección de la investigación, así como por su dedicación y entrega para el desarrollo de la misma.

Dr. Rubén Bugarín Montoya, por su constancia, excelentes consejos y aportaciones durante el desarrollo del proyecto.

Dra. Cecilia Rocío Juárez Rosete, por todas sus aportaciones para la mejora y desarrollo de la investigación.

M.C. Circe Aidín Aburto González, por su atención, paciencia, conocimientos y entrega al momento de afinar cada mínimo detalle en la ejecución del proyecto.

A mis compañeros de maestría, por brindarme su amistad y apoyo en el periodo en que se cursó.

CONTENIDO

CONTENIDO	i
INDICE DE TABLAS	iii
INDICE DE FIGURAS	iv
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo General	3
1.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Hipótesis	3
II REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen y distribución	4
2.2 Importancia y producción a nivel mundial	4
2.3 Importancia y producción nacional	5
2.4 Variedades	5
2.5 Arándano azul cv. Biloxi	6
2.6 Usos del arándano	6
2.7 Nutrición mineral del arándano	6
2.8 Producción y calidad de arándano	7
2.9 Sustratos en la producción hidropónica	8
2.10 Solución nutritiva	10
III MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Localización del sitio experimental	12
3.2 Material vegetal	12
3.3 Establecimiento del experimento	12

3.4	Sistema de riego y fertilización	13
3.5	Tratamientos de solución nutritiva	13
3.6	Diseño experimental	14
3.7	VARIABLES EVALUADAS	14
3.7.1	Concentración nutrimental foliar en las etapas vegetativa, floración y fructificación	14
3.7.2	Producción de fruto	15
3.7.3	Tamaño de fruto (Calibre).....	15
3.7.4	pH del fruto	15
3.7.5	Sólidos solubles totales	16
3.7.6	Firmeza del fruto	16
3.8	Análisis estadístico	16
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
4.1	Concentración nutrimental foliar en etapa vegetativa	17
4.2	Concentración nutrimental foliar en etapa de floración	19
4.3	Concentración nutrimental foliar en etapa de fructificación	21
4.4	Longitud de tallo basal en etapa de floración.....	23
4.5	Producción acumulada de fruto	24
4.6	Calibre de fruto.....	25
4.7	Sólidos Solubles Totales (SST) °Brix del fruto.....	27
4.8	pH del fruto	28
4.9	Firmeza del fruto	29
	CONCLUSIONES	33
	LITERATURA CITADA.....	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de la Solución Nutritiva Steiner (1984), modificada.	14
Tabla 2. Concentración nutrimental foliar en arándano Cv. Biloxi en etapa vegetativa por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.....	17
Tabla 3. Concentración nutrimental foliar en arándano Cv. Biloxi en etapa de floración por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.....	19
Tabla 4. Concentración nutrimental foliar en arándano Cv. Biloxi en etapa de fructificación por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.....	21
Tabla 5. Longitud de tallos de arándano cv. Biloxi por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.....	23
Tabla 6. Producción de arándano por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.....	24
Tabla 7. Calibre de fruto de arándano cv. Biloxi por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.....	26
Tabla 8. Firmeza del fruto de arándano cv. Biloxi por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.....	31

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de concentración de la solución nutritiva Steiner en °Brix de frutos de arándano.....	27
Figura 2. Efecto de concentración de la solución nutritiva Steiner en pH de frutos de arándano.....	29

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los cultivos de frutillas o moras, el arándano azul (*Vaccinium corymbosum* L.), ha cobrado fuerte importancia en México, ocupando el cuarto lugar mundial con una producción nacional de 18,031 t, de las cuales se exportaron 17,345 t con un valor comercial de 187.9 millones de dólares en 2016. En el mismo año, se cosecharon 3 mil ha distribuidas en nueve estados: Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Colima, Baja California Norte, Puebla, Edo. de México, Sonora y Guanajuato. El rendimiento promedio asciende a 9 t ha⁻¹ y el mejor rendimiento se registra en el estado de Baja California Norte con 13.4 t ha⁻¹ (SIAP, 2017).

El sistema de producción que prevalece en nuestro país, son macrotúneles con cubierta de plástico. Aun cuando la mayor superficie es cultivada en suelo, se emplean sistemas sin suelo, con un interés creciente en este tipo de sistemas, en virtud de las posibilidades que presenta para lograr incrementar el rendimiento y calidad de fruto, o como alternativa de producción cuando el suelo presenta limitaciones para su uso.

Un factor importante en los sistemas de producción hidropónica, es lo referente a la concentración de la solución nutritiva, dado que regula el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sonneveld y Vogt, 2009; Trejo y Gómez, 2012). La información existente con respecto a la nutrición del cultivo, indica la falta de evidencia experimental acerca de la concentración óptima de la solución nutritiva para el cultivo de *Vaccinium corymbosum* L. y existe controversia en cuanto a que es un cultivo con bajo requerimiento nutrimental (Glokek y Komosa, 2013).

Se ha documentado que una conductividad eléctrica mayor de 1.0 dS m⁻¹ en el medio de crecimiento, disminuye el rendimiento de arándano (Hernández, 2014); sin embargo, existen experiencias en México donde se ha logrado producir arándanos de excelente calidad con C.E. de hasta 4 dS m⁻¹ (Sánchez, 2016 comunicación personal). La calidad comercial

de los frutos de arándano está determinada por el tamaño, color, sabor y firmeza, entre otros. En adición, el contenido de antioxidantes, fibra, potasio y vitaminas A y C, le confieren alto valor nutritivo y económico.

Obtener calidad en frutillas de arándano que se comercializan en fresco, es de vital importancia para poder realizar su comercialización, debido a la creciente demanda de estos productos, así como, a la exigencia cada vez mayor por parte de los consumidores en este aspecto (Pérez y Quintero, 2015). Dentro de los parámetros de calidad perseguidos por los principales consumidores de arándano en los mercados internacionales, están su contenido en sólidos solubles (azúcares), la acidez (ácidos orgánicos), la firmeza de su pulpa, el calibre y su actividad antioxidante (Bello *et al.*, 2012). Por lo anterior, en la presente investigación se plantea el siguiente objetivo.

1.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la concentración de la solución nutritiva en el crecimiento, producción y calidad de arándano azul cv. Biloxi.

1.2 Objetivos Específicos

Cuantificar la concentración macro nutrimental foliar en diferentes etapas fenológicas.

Determinar la concentración de solución nutritiva óptima para la producción y calidad de frutillas de arándano cv. Biloxi.

1.3 Hipótesis

La variación en la concentración de la solución nutritiva, inducirá una respuesta diferencial en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de arándano azul cv. Biloxi, así como una variación significativa en los niveles nutrimentales foliares en las diferentes etapas fenológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen y distribución

El arándano azul es un frutal originario de la parte Este de Norte América y sus inicios como producto hortícola comenzó en los Estados Unidos. Pertenece al género *Vaccinium* que comprende 450 especies aproximadamente, distribuidas desde las partes más frías del mundo como el Círculo Ártico, hasta regiones templadas, del trópico y neo trópico. Representa una de las especies de más reciente domesticación, ya que los primeros programas de selección de arbustos y de técnicas de propagación se iniciaron a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX (Gómez, 2010).

2.2 Importancia y producción a nivel mundial

Aunque el arándano es una de las especies recientemente introducidas en la fruticultura mundial, ha cobrado gran importancia por el crecimiento tanto en su producción como en su consumo, debido a su alta rentabilidad económica y a la gran cantidad de efectos benéficos sobre la salud humana que se han demostrado mediante numerosos estudios sobre este fruto (García *et al.*, 2013). Durante el periodo 2004-2016, la principal región productora de este cultivo fue el Continente Americano con una concentración del 84 % de la producción mundial. Estados Unidos es el país que ocupa el primer sitio en producción de arándano con 185,100.55 toneladas, seguido de Canadá. En el continente europeo, Francia, Polonia y Alemania también adquieren importancia en la producción de este cultivo con 103, 207.36, 14,331.09, 9,526.09 y 7,907.2 toneladas respectivamente. Para 2014 la superficie total cosechada de arándanos en el mundo fue de 95, 195 ha (FAOSTAT, 2016).

2.3 Importancia y producción nacional

México tiene una gran variedad de microclimas con zonas de alto potencial para el cultivo y producción de arándano, sobre todo en la región centro y norte. En cuestiones de comercio, este cultivo ha generado en los últimos años una gran cantidad de exportaciones de arándano mexicano, sobre todo a Estados Unidos, el cual es su principal mercado. De la producción total, el 97.3% es destinada a este país, generando así un valor en divisas de 187.9 millones de dólares. Dentro del país, figuran nueve principales entidades productoras de arándano, las cuales son: Jalisco, Michoacán, Sinaloa, Colima, Baja California, Puebla, Edo. de México, Sonora y Guanajuato, con 13354, 6595, 4375, 2082, 1893, 690, 56, 17 y 5 toneladas respectivamente, siendo Jalisco quien ocupa el primer lugar (SIAP, 2017).

2.4 Variedades

El arándano es uno de los frutales comerciales que se domesticó recientemente. Existen tres especies que tienen importancia económica, *Vaccinium corymbosum* L. que es conocido como “arándano alto” o “Highbush” y en donde entran los denominados “Arándanos Altos del Norte”, son plantas de 1.5-2.5 m de altura con alto requerimiento de horas frío, donde se encuentran variedades como “Bluecrop”, “Elliott” y “Duke”. Los “Arándanos altos del Sur” también pertenecen a esta especie, son híbridos entre *Vaccinium corymbosum* L. y *V. darrowi* son de bajo requerimiento de frío y producción de fruta temprana, “Misty”, “O’Neal” y “Biloxi” son algunas de sus variedades. *Vaccinium vitifolium* “arándano ojo de conejo” o “Rabbiteye”, tiene tolerancia al calor y la sequía, sus frutos son de menor calidad, comprende variedades como “Brightwell”, “Bonita” y “Centurion. Por último, *Vaccinium angustifolium* “arándano bajo” o “Lowbush”, del cual se desconoce información debido a que aún esta especie está en estudio. El medio de crecimiento radical de las especies antes mencionadas comprende un pH de 4.5-5.5, pero varía un poco dependiendo de la variedad (Carhuaricra, 2012).

2.5 Arándano azul cv. Biloxi

Este cultivar es un tetraploide que pertenece a los denominados “Arándanos Altos del Sur”, y fue desarrollado en Estados Unidos por el Servicio de Investigación Agrícola de ese país. La planta tiene tallos rectos, vigorosos y productivos; este es un cultivar de bajo requerimiento de horas frío que en 1998 fue destinado para la producción en las llanuras costeras del sudeste de los Estados Unidos. Sus frutos tienen un peso promedio de 1.47g, un pH de 3.2, acidez titulable del 0.97% y un contenido de sólidos solubles de 13.4% (Hernández, 2014).

2.6 Usos del arándano

El fruto de arándano presenta numerosos beneficios para la salud humana, por lo que es muy recurrente incluirlo en dietas por su bajo contenido en calorías y alto contenido en antioxidantes, así como propiedades nutraceuticas que actúan como anticancerígenos. En la industria, se emplea en la fabricación de mermeladas, como colorantes y en jaleas para rellenos de pasteles o bien para jugos empleados en la cocina. Se le atribuyen beneficios para la salud al reducir los niveles de azúcar en sangre y puede emplearse como antiinflamatorio (Mesa, 2015).

2.7 Nutrición mineral del arándano

El cultivo del arándano se origina de suelos ácidos en donde el nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) es absorbido en mayor cantidad por la planta (Crisóstomo, 2014). El nitrógeno es el elemento predominante aplicado al arándano para lograr un buen crecimiento y desarrollo de la planta, así como una buena producción. Aunque estas plantas son relativamente pequeñas y de crecimiento lento, comparándola con otros cultivos de árboles frutales de condiciones templadas, la cantidad de fertilizante a base de nitrógeno aplicada al cultivo cada año es considerable (Banados *et al.*, 2012). Se ha reportado que el arándano azul llega a extraer por

tonelada de fruto 4.7 kg de N, 0.5 kg de P, 4 kg de K, 1.4 kg de Ca y 0.8 kg de Mg (Sánchez García, 2009). Entonces, aunque la fertilización del arándano puede llegar a considerarse baja comparándola con otras bayas, varias investigaciones mencionan que la implementación de un plan de nutrición equilibrada y precisa puede llegar a mejorar el crecimiento, desarrollo y rendimiento del arándano (Hernández, 2014).

2.8 Producción y calidad de arándano

La expresión del máximo potencial en la producción y rendimiento de arándano está ligado a diferentes factores, dentro de los más importantes se tiene al marco de plantación, variedad, fertilización, manejo del riego y el pH. Haciendo énfasis en el manejo y suplemento de agua y fertilizantes, en América del Sur, hay reportes del incremento en un 43% de la producción con el implemento de sistemas de riego localizado con un manejo adecuado del agua y nutrientes (Pannuncio *et al.*, 2011).

Obtener calidad en frutas y verduras que se comercializan en fresco es de vital importancia para poder realizar su comercialización, debido a la creciente demanda de estos productos, así como a la exigencia cada vez mayor por parte de los consumidores en este aspecto (Pérez y Quintero, 2015). Dentro de los parámetros de calidad perseguidos por los principales consumidores de esta fruta que es E.U, se hace referencia a su contenido en sólidos solubles (azúcares), acidez (ácidos orgánicos), firmeza de su pulpa, calibre y actividad antioxidante (Bello *et al.*, 2012).

La firmeza es una cualidad importante exigida en frutos de arándano, siendo que estos frutos son muy perecederos, es de suma importancia esforzarse en asegurar conseguir su calidad durante el crecimiento, recolección, empaçado, almacenamiento, transporte y distribución hasta el consumidor. Un fruto firme de arándano es indicador de frescura y aunque no se cuenta con un indicador preciso de calidad en estos frutos en cuanto a este aspecto se refiere,

se adquiere como requisito de calidad la condición firme al tacto del arándano (*Zapata et al., 2010*).

Dentro de los elementos que confieren atributos de calidad a los productos hortofrutícolas cosechados en cuanto a sabor, textura, firmeza, tamaño, etc., está el Ca^{2+} , K^+ y Mg^{2+} , los cuales son importantes constituyentes de las células vegetales de las plantas.

2.9 Sustratos en la producción hidropónica

Con el incremento de la población mundial, se tiene la necesidad de elevar la producción de alimentos de origen vegetal, aunado a esto, la baja disponibilidad de suelos aptos para la agricultura en aquellas zonas de alto desarrollo, así como la escases de agua o su mala calidad para el uso agrícola, han llevado a desarrollar la búsqueda de alternativas para el desarrollo de cultivos por parte de numerosos investigadores, como consecuencia a ésto se originaron los sistemas hidropónicos a nivel comercial (*Herrera, 1999*).

La producción hidropónica o sistemas de cultivo hidropónicos como se le conoce normalmente, son los que se desarrollan en un medio de solución nutritiva o en sustratos inertes de origen inorgánico u orgánico. Se les denomina sistemas de cultivo sin suelo (*Soria, 2002*). La implementación de este tipo de sistemas permite obtener una mayor calidad y sanidad de la fruta cosechada, además incrementar la productividad por planta y haciendo más eficiente el uso de agua y nutrientes (*Beltrano y Daniel, 2015*). En los sistemas de cultivo sin suelo, el éxito o fracaso dependerá en gran medida del sustrato o medio de crecimiento a utilizar, por tanto, es importante elegir el sustrato más conveniente para nuestros fines, dado que, el crecimiento y desarrollo estará directamente influenciado por las condiciones que brindan a las raíces (*López et al., 2005*).

La finalidad del sustrato se basa en la producción de planta o cosecha abundante y de buena calidad, que sea en el período de tiempo más corto posible y a los menores costos de

producción. De igual manera, el sustrato a utilizar no debe generar un fuerte impacto ambiental (Abad *et al.*, 2005). La selección del tipo de sustrato a utilizar dependerá de las características del cultivo a establecer, de la instalación y de las variables ambientales. También, se deben tener en presente las prácticas para su manejo, para que se obtengan los resultados esperados (Quintero *et al.*, 2011).

Los materiales utilizados como medios de crecimiento o sustratos en la producción de plantas bajo el sistema de cultivo sin suelo, ejercen la función de servir de soporte a la planta, proveer agua, aire y nutrientes para su óptimo desarrollo de raíces y parte aérea (Burés, 1997). Sin embargo para que el sustrato pueda propiciar dichas condiciones, éste debe cumplir con ciertos requerimientos en sus propiedades físicas y químicas, y biológicas si es el caso de materiales orgánicos (Cruz, 2013). No obstante, se ha comprobado que las propiedades físicas tienen mayor importancia sobre las demás, ya que éstas no se podrán modificar de manera positiva para el cultivo, una vez que éste sea colocado en la maceta o contenedor. En sí, se debe de asegurar que el material a utilizar tenga las características físicas de mayor valor posible al inicio del ciclo del cultivo, dado que, conforme pase el tiempo estas podrán disminuir, de acuerdo con su manejo (Abad *et al.*, 2004; Cruz, 2013). De las propiedades físicas que usualmente se determinan son el espacio poroso total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente y densidad real (Baixauli *et al.*, 2002).

Uno de los materiales que generalmente se utiliza como sustrato en la producción hidropónica de hortalizas bajo invernadero es la roca basáltica volcánica, comúnmente conocido como tezontle. Este se considera como inerte desde un punto de vista químico, dado que su extracto de saturación tiene un pH cercano al neutro y su capacidad de intercambio catiónico es baja, su retención de humedad varía dependiendo del tamaño de sus partículas además de tener una buena aireación; por otra parte, su costo de adquisición es bajo (González *et al.*, 2008).

2.10 Solución nutritiva

Solución nutritiva se puede definir como una disolución acuosa de iones inorgánicos en donde su composición química la determinan la proporción relativa entre aniones y cationes, la concentración de iones totales y el pH presente en el medio (Steiner, 1961). Los iones serán proporcionados a la solución nutritiva a partir de sales solubles que contengan los elementos esenciales para las plantas, los cuales en la actualidad se conocen 17, que se clasifican en macronutrientes y micronutrientes, en ausencia de uno de ellos, la planta no podrá completar su ciclo. La respuesta en crecimiento y desarrollo de las plantas a la solución nutritiva depende de varios factores, el más importante de éstos es la concentración total de iones, la cual se expresa como presión osmótica de la solución nutritiva (Segal, 1989).

El total de iones de sales disueltos en una solución nutriente, ejerce ésta fuerza denominada presión osmótica (PO), que es una propiedad de las soluciones nutritivas que depende de la cantidad de solutos disueltos (Trejo y Gómez, 2012). Por lo general, las soluciones nutritivas contienen seis nutrientes esenciales: N, P, S, K, Ca y Mg. En base a esto, Steiner (1961) creó el concepto relación mutua entre iones, que está basado en la relación mutua entre aniones: NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} y la relación mutua entre cationes: K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} . Así mismo, Steiner (1968) señaló respecto a la concentración de un ion, que el problema es la relación que tiene respecto a los otros dos iones de su misma carga eléctrica; una inadecuada relación entre los iones puede disminuir el rendimiento de la planta.

Cualquier cambio en la concentración de un ion, deberá de acompañarse con el cambio correspondiente del ion de carga opuesta, un cambio complementario para otros iones de la misma carga, o ambos (Hewitt, 1966). La regulación nutritiva consiste no solo en la cantidad absoluta de cada elemento aportado sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los aniones por una parte y los cationes por la otra (Juárez *et al.*, 2006).

La conductividad eléctrica (C.E) y la concentración nutrimental de una solución están relacionadas directamente; con el aumento de la misma, la planta debe emplear mayor cantidad de energía para absorber agua y nutrientes (Herrera, 1999). Los iones que están directamente relacionados con la C.E son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- y OH^- . Los rangos óptimos de conductividad eléctrica dependerán de cada especie. Por lo cual, el total de la concentración iónica en una solución determinará el crecimiento, desarrollo y producción de una planta, dado que una pobre absorción nutrimental está relacionada directamente con el aumento de la C.E (Steiner, 1961; Dalton *et al.*, 1997).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del sitio experimental

El estudio se llevó a cabo en un invernadero tipo semitúnel con cubierta de plástico transparente sin control climático; cuenta con ventilación pasiva cenital y lateral. Se localiza en la Unidad Académica de Agricultura, ubicada en el km 9 de la carretera Tepic-Compostela, con las coordenadas 21° 25' latitud Norte y 104° 53' longitud Oeste en Xalisco, estado de Nayarit.

3.2 Material vegetal

Se utilizaron plantas de arándano cv. Biloxi, de un año de edad; propagadas mediante cultivo *in vitro* y adquiridas en la empresa Viveros Toluquilla, en Tlaquepaque, estado de Jalisco. Cabe mencionar que las plantas contaban con la presencia de flores y frutos, las cuales fueron eliminadas del material vegetativo, utilizando tijeras y solución con alcohol para la desinfección de la herramienta después de podar cada planta. A cada corte se le colocó una pasta a base de agua con oxiclورو de cobre y cal, con la finalidad de sellar la herida provocada para evitar la contaminación por algún patógeno.

3.3 Establecimiento del experimento

El módulo del invernadero se limpió y se niveló, posteriormente se colocó una cubierta de malla plástica negra especial para suelo que evita la proliferación de malezas. Las plantas de arándano se trasplantaron en bolsas de polietileno color negro de 15 litros de capacidad, empleando roca basáltica volcánica color rojo como sustrato, con tamaño de partículas ≤ 6.0 milímetros, las macetas se colocaron a una distancia de 2 metros entre hileras y 50 centímetros entre plantas sobre bloques de cemento.

3.4 Sistema de riego y fertilización

El sistema de riego consistió de cuatro depósitos con capacidad de 200 litros cada uno. Mediante bombas eléctricas de $\frac{1}{2}$ caballo de fuerza se suministró la solución nutritiva, a través de mangueras de 16 mm y goteros de 8 lph. A partir de éstos, con distribuidor doble y tubín de 5/3" se colocaron dos estacas por maceta. El programa de riego se realizó con pulsos de un minuto cada hora, sumando un total de siete riegos por día, con un gasto real de 100 ml cada uno, en los primeros cuatro meses después del establecimiento con planta de porte bajo; en etapa de mayor demanda, la programación se cambió a riegos de un minuto cada media hora, aumentando a un total de 15 a 18 riegos por día.

3.5 Tratamientos de solución nutritiva

Durante el primer mes de establecido el cultivo, todas las plantas se regaron con solución nutritiva universal de Steiner (1961) con una conductividad eléctrica de 0.5 dS m^{-1} , con el propósito de homogeneizar el crecimiento vegetal. Posteriormente se hicieron los ajustes de la misma para los diferentes tratamientos con concentraciones de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 dS m^{-1} . La solución nutritiva original de Steiner (1961) se modificó en la relación de aniones, utilizando 15 meq de nitrógeno total, de los cuales el 25% se suministró en forma N-NH_4^+ . Las concentraciones de las soluciones nutritivas fluctuaron en un rango del 25 al 100 % de su concentración original (Tabla 1).

Tabla 1. Concentración de la Solución Nutritiva Steiner (1984), modificada.

Tratamiento	C.E (dS m ⁻¹)	Concentración (%)	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	NH ₄ ⁺
			----- meq L ⁻¹ -----						
T1	0.5	25	2.81	0.27	1.91	1.42	1.87	0.81	0.93
T2	1.0	50	5.62	0.54	3.82	2.84	3.65	1.62	1.87
T3	1.5	75	8.43	0.81	5.73	4.26	5.48	2.43	2.81
T4	2.0	100	11.25	1.09	7.65	5.68	7.31	3.25	3.75

Como fuente de micronutrientes se utilizó Ultrasol® micro Mix, que es un complejo de micronutrientes quelatados a razón de 0.03 g L⁻¹ de agua.

3.6 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar que constó de cuatro tratamientos con cinco repeticiones, cada una de las repeticiones estuvo constituida por cuatro plantas, obteniendo un total de ochenta plantas.

3.7 Variables evaluadas

3.7.1 Concentración nutrimental foliar en las etapas vegetativa, floración y fructificación

Durante todo el ciclo de crecimiento anual, en cada etapa fenológica de crecimiento vegetativo, floración y fructificación, se colectaron cinco muestras de hoja por tratamiento, las cuales estaban recientemente maduras, asintomáticas y libres de daños, se lavaron y se les retiró el exceso de agua, para colocarlas dentro de bolsas de papel previamente rotuladas con los datos correspondientes para su identificación, y se depositaron en el interior de la estufa con circulación de aire forzado a 70 °C por 48 horas para su secado. Las hojas secas

se molieron y se digestaron por vía húmeda con mezcla digestora de ácido perclórico y sulfúrico a razón de cuatro mililitros por muestra de 0.5 g de materia seca. Se determinó la concentración de N por el método de Kjeldhal, K por flamometría de llama, P por colorimetría y, Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

3.7.2 Producción de fruto

La cosecha se realizó de manera manual y como índice de cosecha se utilizó el color de recubrimiento del fruto, el cual tenía que ser completamente azul, libre de daños y lesiones. El fruto recolectado de cada planta fue colocado en bolsas de papel de un kg de capacidad. Una vez cosechado los cuatro tratamientos, se pesó el contenido de cada bolsa en una balanza digital. La cosecha se realizó cada 25 días, iniciando en el mes de diciembre del 2017 y concluyendo en el mes de mayo del 2018.

3.7.3 Tamaño de fruto (Calibre)

Se fabricaron tres cribas de diferentes tamaños. La primera con cavidades circulares de 10 mm de ancho, la segunda de 12 mm y la tercera con 16 mm de anchura. Con las tres cribas se procedió a determinar 4 tamaños de fruto, muy pequeño (<10 mm), pequeño (≥ 10 mm - <12mm), mediano (≥ 12 mm - <16mm) y grande (≥ 16 mm). El fruto cosechado fue cribado, para posteriormente realizar el pesaje de cada uno de los calibres separados en una balanza digital.

3.7.4 pH del fruto

Se determinó con un medidor de pH marca HORIBA modelo LAQUATWIN. Se seleccionaron 300 gramos de frutos de cada tratamiento, de los cuales se extrajo jugo sin diluir y se colocó unas gotas para obtener la lectura de pH.

3.7.5 Sólidos solubles totales

Se determinó con un Refractómetro Digital de bolsillo 0-53% brix, marca Atago, modelo PAL-1 del jugo sin diluir de 300 gramos de fruto para cada tratamiento.

3.7.6 Firmeza del fruto

Se realizó con un penetrómetro digital marca Meter2u® modelo GY-4 y se midió por deformación con un puntal plano de 1.0 cm de diámetro a 50 frutos por tratamiento en los dos polos ecuatoriales de los mismos.

3.8 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables de respuesta consideradas en los tratamientos experimentales se sometieron a un Análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS® 2009.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración nutrimental foliar en etapa vegetativa

El análisis de varianza indicó que existió efecto de tratamientos en la concentración foliar de algunos nutrimentos; para la concentración de P, Ca y Mg no mostró diferencias estadísticas, pero sí para los casos de N y K, en donde las diferencias fueron altamente significativas. Para la concentración de N, la prueba de comparación de medias Tukey (0.05) clasificó los tratamientos en tres grupos; la mayor concentración de N se obtuvo con el tratamiento con C.E de 2.0 dS m⁻¹, mientras que las más bajas concentraciones se obtuvieron en los tratamientos con C.E de 0.5 y 1.0 dS m⁻¹. Con respecto al potasio, el comportamiento fue similar, sólo que la prueba identificó cuatro grupos estadísticos (Tabla 2), conforme se incrementó la concentración de la solución nutritiva se incrementó significativamente la concentración de K.

Tabla 2. Concentración nutrimental foliar en arándano Cv. Biloxi en etapa vegetativa por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.

Tratamiento (Concentración Solución Nutritiva Steiner) dSm ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
	%				
0.5	1.083 c	0.10	0.83 d	0.86	0.18
1.0	1.12 c	0.12	0.94 c	0.87	0.17
1.5	1.34 b	0.12	1.00 b	0.96	0.15
2.0	1.53 a	0.13	1.40 a	1.15	0.17
Media	1.26	0.11	1.04	0.96	0.16
Pr>F	0.0001**	0.76 ^{NS}	0.0001**	0.85 ^{NS}	0.111 ^{NS}
D.M.S	0.10	0.07	0.04	1.076	0.04
C.V	4.65	35.45	2.43	61.17	10.64
R ²	0.94	0.85	0.84	0.85	0.26

** = Diferencia altamente significativa; Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05). DMS= Diferencia mínima significativa; C.V.= Coeficiente de Variación.

La concentración de N que se obtuvo de 1.53 % con la solución nutritiva a 2.0 dS m⁻¹ es similar a la que reportan Bryla y Strik (2015) en *Vaccinium corymbosum*, con fertilización nitrogenada.

En la etapa vegetativa es cuando se presentó la mayor concentración de N en el tejido foliar, esto se debe a procesos naturales de la misma planta, dado que después de la poda realizada para la eliminación de flores y frutos, se inició la generación de estructuras vegetativas; y este elemento a su vez, es parte importante de la molécula de clorofila que es indispensable para la formación de fotosintatos para el inicio de la floración (Coruzzi y Zhou, 2001).

Se puede observar que entre la concentración foliar de P, K y Ca, y la concentración de la solución nutritiva, existe una correlación (R^2) significativa, y en el caso del N la correlación es altamente significativa, esto indica que en las concentraciones evaluadas (0.5 a 2.0 dSm⁻¹), el cultivo absorbe estos nutrientes de manera proporcional. En el caso del Mg, el grado de asociación es débil ($R^2 = 0.26$) y no existió diferencia estadística entre tratamientos, lo cual indica que en esta etapa fenológica una concentración de Mg en solución nutritiva a 0.5 dS m⁻¹ satisface la necesidad del cultivo.

En esta etapa fenológica, el N fue el elemento que estuvo en mayor concentración en hojas de arándano, seguido del K, Ca, Mg y P, datos que también coinciden con lo que reportó Rivadeneira (2012), los cuales están relacionados con los niveles óptimos para otras variedades y tipos de arándano.

4.2 Concentración nutrimental foliar en etapa de floración

El análisis de varianza para la variable concentración de P, Ca y Mg en esta etapa, no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos; sin embargo, para el contenido de N y K las diferencias encontradas fueron altamente significativas (Tabla 3).

En la concentración de N con la prueba de comparación de medias por Tukey (0.05), clasificó a los tratamientos en tres grupos, el tratamiento con mayor concentración de N correspondió a la solución a 2.0 dSm⁻¹, seguida de la solución a 1.5 dSm⁻¹ el segundo, y el tercer grupo estadístico estuvo formado por las soluciones a 1.0 y 0.5 dSm⁻¹. Respecto a la concentración de potasio, el comportamiento fue similar, con la diferencia de que para este elemento la prueba identificó cuatro grupos Tukey.

Tabla 3. Concentración nutrimental foliar en arándano Cv. Biloxi en etapa de floración por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.

Tratamiento (Con. Solución Nutritiva Steiner) dSm ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
	%				
0.5	1.05 b	0.10	0.86 d	1.20	0.15
1.0	1.22 ab	0.12	1.13 c	1.31	0.14
1.5	1.40 a	0.11	1.22 b	1.30	0.11
2.0	1.46 a	0.09	1.55 a	0.91	0.11
Media	1.28	0.10	1.19	1.18	0.12
Pr>F	0.001**	0.68 ^{NS}	0.0001**	0.56 ^{NS}	0.1111 ^{NS}
D.M.S	0.26	0.06	0.05	0.91	0.01
C.V	11.26	31.16	2.52	42	5.35
R ²	0.96	0.16	0.96	0.37	0.88

** = Diferencia altamente significativa; NS= No significativo; Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05). DMS= Diferencia mínima significativa; C.V.= Coeficiente de Variación.

Se observa un efecto significativo de la solución nutritiva para el caso de N y K; la concentración de estos elementos es proporcional a la concentración de la solución nutritiva, en el caso de P se observa aunque solo numéricamente y no estadísticamente, una disminución en la concentración conforme se incrementó la concentración de la solución nutritiva de 1.7 a 2.0 dSm⁻¹, esto puede ser por una traslocación del nutrimento en cuestión hacia la producción de flor, producto de la movilidad interna del fósforo, el cual se clasifica como un elemento móvil en la planta (Shen *et al.*, 2011).

La concentración de K en la presente investigación en esta etapa fenológica supera la concentración foliar de K que indican Strik y Vance (2015), para algunos cultivares de *Vaccinium corymbosum* L., que es de 0.6 a 1.2 %, ya que la concentración de K fue de 0.86 a 1.55%. Hart *et al.*, (2006), reportan una concentración de N, P, K, Ca y Mg para arándano de 1.76-2.00, 0.10-0.40, 0.41-0.70, 0.41-0.80 y 0.13-0.25 respectivamente, como un rango de suficiencia recomendado para este tipo de frutilla.

En la etapa de floración, se determinó que la concentración de N, K y Mg en tejido foliar, mostró una correlación significativa con la concentración de la solución nutritiva ($R^2= 0.96$), esto no ocurrió en el caso de fósforo, lo cual se puede atribuir a los mecanismos de movilización que se dan internamente en la planta hacia este órgano debido a su alta demanda metabólica. Strik y Vance (2015), encontraron que el nivel de agotamiento de este nutrimento es fuerte, ya que de estar en un valor de concentración de 0.40 % va disminuyendo conforme pasa el tiempo hasta llegar a valores inferiores a 0.20%, al momento en que se encuentra en etapa de producción de fruto.

4.3 Concentración nutrimental foliar en etapa de fructificación

Con el análisis de varianza, se encontró que para la concentración de P y Mg no hubo diferencias estadísticas, en contraste con N, K y Ca, donde las diferencias fueron altamente significativas. Para la concentración de estos tres nutrimentos, la prueba de medias Tukey (0.05) clasificó a los tratamientos en cuatro grupos, siguiendo la misma tendencia en cada uno de ellos. La mayor concentración de estos nutrimentos se logró con la solución con C.E de 2.0 dSm⁻¹ y se disminuyó conforme la solución nutritiva estuvo más diluida (Tabla 4).

Tabla 4. Concentración nutrimental foliar en arándano Cv. Biloxi en etapa de fructificación por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.

Tratamiento (Con. Solución Nutritiva Steiner) dSm ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
0.5	1.20 c	0.10 a	0.94 d	0.70 c	0.17 a
1.0	1.23 bc	0.12 a	1.10 c	0.87 bc	0.17 a
1.5	1.41 b	0.11 a	1.27 b	0.94 ab	0.16 a
2.0	1.70 a	0.09 a	1.48 a	1.07 a	0.18 a
Media	1.38	0.10	0.94	0.89	0.17
Pr>F	0.001**	0.68 ^{NS}	0.001**	0.004**	0.3 ^{NS}
D.M.S	0.19	0.06	0.13	0.18	0.03
C.V	7.79	31.16	6.26	11.62	10.17
R ²	0.80	0.08	0.89	0.67	0.19

** = Diferencia altamente significativa; NS= No significativo; Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05). DMS= Diferencia mínima significativa; C.V.= Coeficiente de Variación.

La concentración foliar de N, K y Ca, se incrementó de manera significativa y proporcional con respecto a la concentración de la solución nutritiva, por lo que se infiere que la concentración de estos nutrimentos fue mayor. El K, es un elemento que influye sobre el rendimiento y calidad del fruto (Santoyo *et al.*, 2011) posee gran importancia en funciones fisiológicas y metabólicas de las plantas, como lo son el transporte de agua y nutrientes a los órganos de demanda (Rodríguez y Florez, 2004). Además del K, el Ca también contribuye

a brindarle calidad a los frutos, proporcionando firmeza, sanidad y vida poscosecha (Pérez y Quintero, 2015). Sin embargo, aunque las concentraciones de ambos elementos fueron mayores conforme se aumentó la concentración de las soluciones, el rendimiento y calidad de la fruta, fueron mayor en tanto las concentraciones de los tratamientos disminuían.

Durante la etapa de fructificación se presentó una mayor concentración foliar de K, lo cual puede explicarse por la alta demanda que presenta el cultivo de arándano de este nutrimento para abastecer al crecimiento y desarrollo de los frutos. Asimismo, se observó una alta correlación ($R^2= 0.89$) entre la concentración de la solución nutritiva y la concentración de K en tejido foliar, esto indica que hay un reabastecimiento nutrimental óptimo a nivel de tejido foliar, pues aunque una gran cantidad de K, se está movilizándose hacia los frutos el efecto de desabasto no se observó a nivel foliar.

En el caso de P, aunque no existe diferencia estadística si la hay numérica, y este presenta un decremento de su concentración a partir del tratamiento de 1.5 a 2.0 dSm⁻¹, esto puede ser atribuido a que el P es traslocado de las hojas hacia los frutos para la síntesis de proteínas, división celular y desarrollo de tejido nuevo (Hernández, 2014). Es importante hacer énfasis que en *Vaccinium* el P es el nutrimento que más fluctuación posee, pues Strik y Vance (2015) reportaron un rango de 0.40 al inicio de fructificación a 0.20 al final de fructificación y Vidal *et al.*, (1999) reportaron una fluctuación más severa en (*Vaccinium ashei* R.) cv. "Tifblue" y "Premier", ya que el cultivo inició con 0.30 % de P (30 días post botón rosado) a 0.05 % de P (224 días post botón rosado), estos valores y rangos de fluctuación no coinciden con lo que se registró en la presente investigación, lo cual se puede atribuir al sistema de cultivo hidropónico utilizado el cual permitió el abasto de necesidad nutrimental de la planta.

En un estudio nutrimental de variación estacional en *Vaccinium corymbosum* L. Strik y Vance (2015) encontraron que el Mg fue el nutrimento que tuvo menos variación a través del periodo de estudio el cual duró siete meses y los valores de Mg que reportan son coincidentes con los registrados en el presente estudio.

4.4 Longitud de tallo basal en etapa de floración

El análisis de varianza para la longitud de tallo basal mostró diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, la prueba de comparación de medias por Tukey (0.05) agrupó a los cuatro tratamientos con la misma letra, lo cual indica que no difieren estadísticamente (Tabla 5).

Tabla 5. Longitud de tallos de arándano cv. Biloxi por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.

Tratamiento	Concentración de la solución (dSm ⁻¹)	Longitud de tallo (cm)
T1	0.5	123.20 a
T2	1.0	125.00 a
T3	1.5	125.40 a
T4	2.0	99.00 a
Pr>F	0.0495*	
D.M.S	28.753	
C.V	20.2051	

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa; C.V.= Coeficiente de Variación.

Rosen *et al.*, (1990) menciona que el crecimiento de tallos en plantas de arándano es beneficiado con la incorporación de N tanto en forma amoniacal como nítrica a pH de 4.5, condición que es dada en este experimento. Sin embargo, la disminución que se observa en el crecimiento de tallo (solo de forma numérica) del tratamiento cuatro con la concentración al 100% de la solución nutritiva, se atribuye al incremento de la salinidad de la misma; Machado *et al.*, (2014) reportaron el efecto negativo que se tuvo en producción de materia seca en *Vaccinium corymbosum* L. cuando se incrementó la C.E de 0.5 a 1.5 dSm⁻¹, así mismo Goykovic y Saavedra del Real (2007) demostraron este efecto sobre el crecimiento en plantas de tomate.

4.5 Producción acumulada de fruto

El análisis de varianza para la producción acumulada de fruto mostró diferencias significativas entre tratamientos, la prueba de comparación de medias Tukey (0.05) los clasificó en tres grupos; el primer grupo corresponde a la concentración de 1.0 dSm⁻¹ de la solución nutritiva, siendo éste el que registró mayor producción, le siguió el tratamiento a 0.5 dSm⁻¹ y después a 1.5 y 2.0 dSm⁻¹ de la concentración de solución, quienes conformaron el tercer grupo (Tabla 6).

Tabla 6. Producción de arándano por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.

Tratamiento	Concentración de la solución (dSm ⁻¹)	Producción acumulada por planta (g)
T1	0.5	145.67 ab
T2	1.0	190.79 a
T3	1.5	125.15 b
T4	2.0	117.78 b
Pr>F	0.0158*	
D.M.S	62.277	
C.V	43.02	

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa; C.V.= Coeficiente de Variación.

La producción de frutos de arándano, así como también la producción de berries en general, se afecta por el estrés tanto hídrico como salino (Vargas *et al.*, 2018), este último es el caso para las diferentes condiciones a las que fueron sometidas las plantas en los distintos tratamientos.

El estrés osmótico, que es la consecuencia del estrés hídrico y salino, está marcado como uno de los principales factores de estrés abiótico con efecto negativo en la producción de plantas cultivadas en el mundo (Lamz y González, 2013).

Hernández (2014), mencionó que valores de conductividad eléctrica superiores a 1.0 dSm^{-1} en el medio de crecimiento, provocan una disminución en el rendimiento de arándano; caso particular fue lo ocurrido en los tratamientos con C.E de 1.0 y 2.0 dSm^{-1} , respectivamente, los cuales arrojaron los valores más bajos en esta variable; esto se debe a un efecto osmótico, donde la respuesta más común de la planta sometida al estrés por salinidad, es la falta de crecimiento en general, y conforme la concentración de las mismas en la zona de las raíces se eleva por encima de la cantidad límite, también la producción del cultivo se reduce progresivamente (Universidad de California, 2018). Lo que se observó también en la variable de crecimiento de tallos (Tabla 5), donde de igual forma los dos tratamientos antes mencionados presentaron una menor longitud. En contraste, los tratamientos que no fueron sometidos a un estrés osmótico por encima de su concentración límite, presenciaron mayor producción.

4.6 Calibre de fruto

En el caso de calibre de frutos, el análisis de varianza mostró diferencias significativas por efecto de tratamientos en frutos de calibre pequeño ($\geq 10 \text{ mm}$ y $< 12 \text{ mm}$) y para el calibre mediano ($\geq 12 \text{ mm}$ y $< 16 \text{ mm}$) las diferencias fueron altamente significativas (Tabla 7).

La prueba de comparación de medias Tukey (0.05) para calibre pequeño, clasificó a los tratamientos en tres grupos, el primero correspondió al tratamiento con solución a 1.0 dSm^{-1} , quien fue el que produjo más frutos de este calibre, el segundo grupo lo integraron los tratamientos con 1.5 y 2.0 dSm^{-1} de la concentración de la solución y el tercero lo compuso el tratamiento con 0.5 dSm^{-1} , quien obtuvo el menor gramaje de frutos pequeños.

Con los frutos medianos, la prueba de comparación de medias solo identificó dos grupos, el primero lo integraron los tratamientos a 0.5 y 1.0 dSm⁻¹ de concentración de la solución y el segundo estuvo compuesto por los tratamientos con 1.5 y 2.0 dSm⁻¹; en este caso, la solución nutritiva con 0.5 dSm⁻¹ obtuvo mayor gramaje de estos frutos y fue disminuyendo en cuanto la concentración de la misma aumentaba.

Tabla 7. Calibre de fruto de arándano cv. Biloxi por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner.

Tratamiento	Concentración de la solución nutritiva (dSm ⁻¹)	Calibre (g)	
		Pequeño	Mediano
1	0.5	53.14 b	263.66 a
2	1.0	151.46 a	260.76 a
3	1.5	119.11 ab	110.84 b
4	2.0	113.24 ab	91.06 b
	Pr>f	0.013*	0.0018**
	D.M.S.	77.21	139.77
	C.V.	46.60	49.91

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa; C.V.= Coeficiente de Variación.

Se puede observar que los tratamientos con concentraciones más altas de la solución nutritiva obtuvieron mayor cantidad de frutos pequeños, esto puede ser atribuido al estrés osmótico salino y, como consecuencia hídrico, al que fueron sometidas las plantas en dichos tratamientos; situación que se respalda con lo mostrado por Mingeau *et al.*, (2001), quien comprobó que en plantas de arándano tipo arbustivo (highbush) sometidas a este tipo de estrés, el impacto afecta negativamente en el tamaño de los frutos.

Caso similar ocurrió con fresa, otro tipo de berry, quien al ser sometidas a un fuerte incremento de la conductividad eléctrica (9.98 y 12.62 dSm⁻¹), provocada por la salinidad, su calidad de fruto expresada en su diámetro se vio fuertemente disminuida (Casierra y García, 2006).

4.7 Sólidos Solubles Totales (SST) °Brix del fruto

Para la concentración de SST, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos. Los frutos con solución a 0.5 dSm^{-1} fueron los de mayor contenido de SST, dicho contenido fue disminuyendo al ir incrementando la concentración de la SN siendo el tratamiento con concentración de 2.0 dSm^{-1} de la solución el más bajo (Figura 1).

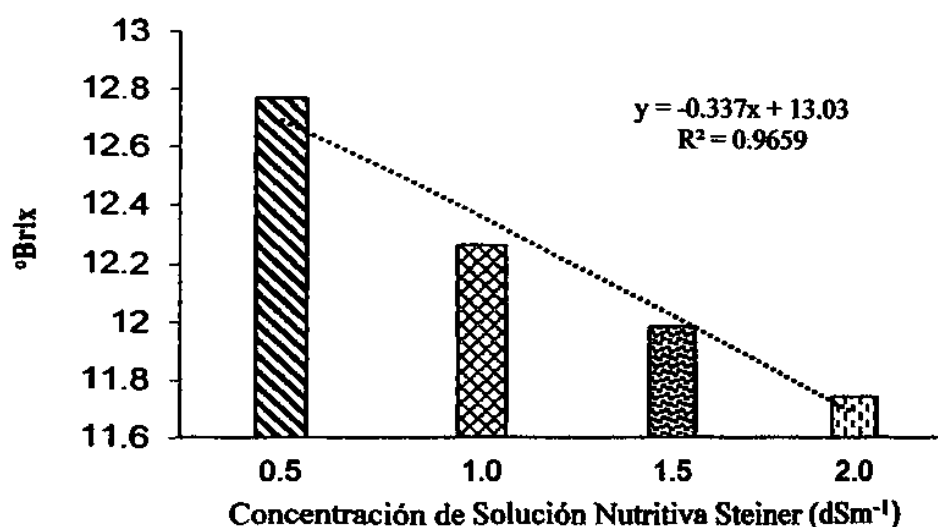


Figura 1. Efecto de concentración de la solución nutritiva Steiner en °Brix de frutos de arándano

Los sólidos solubles están constituidos principalmente por azúcares como glucosa y fructosa y en menor grado por ácidos orgánicos y sustancias. En arándano, glucosa y fructosa son los principales azúcares, encontrándose pequeñas cantidades de sacarosa (Figueroa *et al.*, 2010).

Los sólidos solubles indican el contenido de azúcar en la fruta, así mismo Kader (1997), considera como el índice de calidad mínimo para arándanos debe superar los niveles superiores a 10°brix , valores que los frutos cosechados en la presente investigación superan e inclusive están dentro de los niveles óptimos reportados ($10.6 - 13.2^\circ\text{Brix}$) para otras variedades de arándanos (Saftner *et al.*, 2008).

Un estrés osmótico induce un incremento de sólidos solubles en los frutos (Willadino y Camara, 2005), respuesta que se esperaría en los tratamientos con altas concentraciones de la solución nutritiva; sin embargo, los tratamientos con 75 y 100% de concentración fueron los más bajos; cabe mencionar, que el contenido de sólidos solubles totales está fuertemente ligado con el peso, y por ende, con el tamaño del fruto (Cordenunsi *et al.*, 2002), esto puede explicar el porqué de estas condiciones, ya que los frutos de estos tratamientos fueron los más pequeños en su mayoría.

4.8 pH del fruto

El análisis de varianza para pH del fruto mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre tratamientos, en donde la comparación de medias por Tukey (0.05) los clasificó en cuatro grupos. El primero correspondió al tratamiento con concentración de solución de 2.0 dSm⁻¹, que fueron los frutos menos ácidos, seguido de la concentración a 1.5 dSm⁻¹ el segundo; con 1.0 dSm⁻¹ el tercero y el último grupo lo constituyó el de la concentración a 0.5 dSm⁻¹ de la solución nutritiva. La relación en el pH del fruto fue inversamente proporcional a la concentración de la solución, tendiendo a ser mayormente ácidos conforme baja la concentración de la misma (Figura 2).

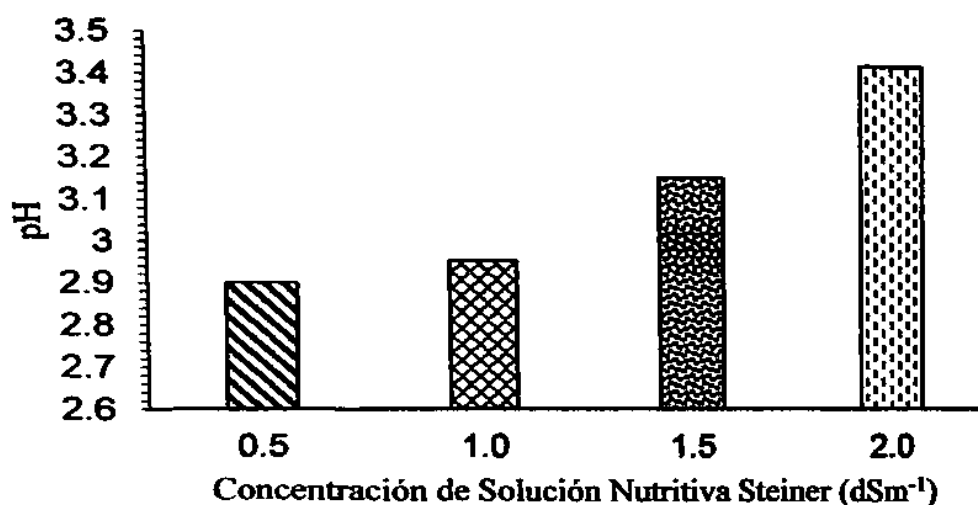


Figura 2. Efecto de concentración de la solución nutritiva Steiner en pH de frutos de arándano

Los valores de pH del fruto en todos los tratamientos estuvieron por debajo de lo reportado por **Hernández (2014)** para el cv. Biloxi, quien encontró valores de 3.44 para esta variedad; sin embargo, dichos valores cumplen con el intervalo óptimo (2.5 – 4.0) reportado para diferentes cultivares de arándano (**Beaudry, 1992; Chiabrando et al., 2009**).

En los tratamientos con 75 y 100% de la solución nutritiva fue donde se obtuvieron los frutos con menor acidez, esto puede atribuirse al estrés salino al que fueron sometidas las plantas en estos tratamientos; caso similar ocurrió en lo reportado por **Kepenek y Koyuncu (2002)** con el cultivo de fresa, donde manifiestan que el estrés salino induce una reducción tanto en la acidez, como en el contenido de sólidos solubles totales en el fruto.

4.9 Firmeza del fruto

El análisis de varianza para firmeza, no mostró diferencias significativas entre tratamientos en el primer corte para las mediciones en ambos polos; de igual forma en el cuarto y quinto, pero solo en el primero y segundo polo respectivamente; para el segundo corte, las diferencias

encontradas fueron significativas en ambos polos y donde la comparación de medias por Tukey (0.05) los clasificó en tres grupos; en el tercer corte se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas para las mediciones del primer polo, mostrando solamente dos grupos Tukey en la prueba de comparación de medias; el segundo polo se clasificó en tres grupos y las diferencias encontradas por el análisis de varianza fueron significativas. En el quinto corte las diferencias mostradas fueron significativas y se agruparon los tratamientos en tres grupos, esto para el primer polo; el séptimo corte mostró diferencias altamente significativas entre tratamientos y la prueba de comparación de medias los agrupó en dos grupos Tukey (Tabla 8).

Tabla 8. Firmeza del fruto de arándano cv. Biloxi por efecto de concentración de solución nutritiva Steiner

Tratamiento	Firmeza en Nétones (N)													
	Concentración de la solución nutritiva (dSm ⁻¹)		1er corte		2do corte		3er corte		4to corte		5to corte		7mo corte	
	Polo 1	Polo 2	Polo 1	Polo 2	Polo 1	Polo 2	Polo 1	Polo 2	Polo 1	Polo 2	Polo 1	Polo 2	Polo 1	Polo 2
1	0.5	2.73 a	2.8 a	2.56 a	2.65 a	2.73 a	2.75 a	2.73 a	2.49 a	2.54 a	2.62 a	2.55 a	2.38 a	2.58 a
2	1.0	2.55 a	2.86 a	2.45 ab	2.55 ab	2.51 b	2.39 b	2.51 b	2.35 a	2.46 a	2.53 ab	2.71 a	2.54 a	2.55 a
3	1.5	2.47 a	2.55 a	2.37 b	2.47 b	2.60 ab	2.47 b	2.60 ab	2.44 a	2.57 a	2.40 b	2.66 a	2.37 a	2.35 b
4	2.0	2.59 a	2.75 a	2.36 b	2.5 ab	2.43 b	2.43 b	2.59 ab	2.36 a	2.39 a	2.45 ab	2.60 a	2.38 a	2.36 b
Pr>F		0.113 ^{NS}	0.251 ^{NS}	0.013*	0.059*	0.0001**	0.02*	0.133 ^{NS}	0.044*	0.019*	0.24 ^{NS}	0.031*	0.0006**	
D.M.S		0.35	0.35	0.17	0.17	0.18	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.22	0.17	0.18
C.V		14.7	14.09	14.06	13.61	14.18	13.61	14.11	13.93	14.62	16.14	13.7	14.14	

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05). DMS= Diferencia mínima significativa; C.V.= Coeficiente de Variación

Los tratamientos con solución a 0.5 y 1.0 dSm⁻¹, encabezaron los frutos con mayor firmeza a través de todos los cortes; estos mismos datos coinciden con lo reportado por **Hernández (2014)** para el cv. Biloxi. Con los tratamientos con concentración más alta lo frutos obtuvieron menos firmeza; sin embargo, superan los valores para firmeza reportados en otros cultivares de arándano (**Zapata *et al.*, 2010**).

CONCLUSIONES

Se reafirmó que C.E. mayores a 1.0 dS m^{-1} afectan el crecimiento, producción y calidad de arándano azul cv. Biloxi, dado que las plantas de los tratamientos con concentración de la solución nutritiva superiores (1.5 y 2.0 dSm^{-1}) fueron las que presentaron menor longitud de tallos y produjeron menor cantidad y calidad de frutos.

La Solución nutritiva que favorece la producción y calidad de frutos de arándano cv. Biloxi, son las de baja concentración (0.5 y 1.0 dSm^{-1}). En estas concentraciones se obtuvieron frutos de mayor calibre (diámetro ecuatorial), con mayor contenido de SST ($^{\circ}\text{Brix}$), más ácidos y mayor firmeza; por lo cual, con dichas concentraciones de la solución nutritiva es suficiente para cumplir con las características deseadas en cuanto a calidad de fruto se refiere.

La concentración foliar de macronutrientes no presentó valores críticos durante todo el ciclo del cultivo, estuvo dentro de lo óptimo reportado para el cultivar y para arándanos en general.

LITERATURA CITADA

- Banados, M. P.; Strik, B. C.; Bryla, D. R., y Righetti, T. L. 2012. Response of highbush blueberry to nitrogen fertilizer during field establishment, I: accumulation and allocation of fertilizer nitrogen and biomass. *HortScience*, 47(5), 648-655p.
- Beaudry, R. 1992. Blueberry quality characteristics and how they can be optimized. Annual report of the Michigan State Horticultural Society (122nd). Michigan State Horticultural Society, Morrice, 140-145p.
- Bello, F.; Almirón, N.; Beltramini, N., y Vázquez, D. 2012. Comportamiento postcosecha de variedades patentadas de arándanos cultivadas en Entre Ríos (Argentina). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13(1), 31-36p.
- Bryla R. D., Strik B. C. 2015. Nutrient Requirements, Leaf Tissue Standards, and New Options for Fertigation of Northern Highbush Blueberry. *Hortechology*. 25 (4): 464-470p.
- Carhuaricra Montes., C.H. 2012. El cultivo de arándano (*Vaccinium sp.*) y sus principales características. Monografía científica. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental. Huacho, Perú. 19-20p.
- Casierra-Posada, F., & García Riaño, N. 2006. Producción y calidad de fruta en cultivares de fresa (*Fragaria sp.*) afectados por estrés salino. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 59(2).
- Chiabrando, V., Giacalone, G., y Rolle, L. 2009. Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(6), 989-992p.
- Cordenunsi, B. R., Oliveira do Nascimento, J. R., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. 2002. Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(9), 2581-2586p.
- Coruzzi, G. M., y Zhou, L. 2001. Carbon and nitrogen sensing and signaling in plants: emerging 'matrix effects'. *Current opinion in plant biology*, 4(3), 247-253p.

- Crisóstomo C., M. N.; Hernández Rodríguez, O. A.; López Medina, J.; Manjarrez Domínguez, C., y Pinedo Álvarez, A. 2014. Relaciones amonio/nitrato en soluciones nutritivas ácidas y alcalinas para arándano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(3), 525-532p.
- Dalton, F. N.; Maggio, A. y Piccinni, G. 1997. Effect of Root Temperature on Plant Response Functions for Tomato: Comparison of Static and Dynamic Salinity Stress Indices. *Plant and Soil*, Vol. 192, No.2. 307-319p.
- FAOSTAT. 2016. Production crops. Food and Agriculture Organization of the United Nations. En: (<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>).
- Figuroa, D., Guerrero, J., y Bensch, E. 2010. Efecto de momento de cosecha y permanencia en huerto sobre la calidad en poscosecha de arándano alto (*Vaccinium corymbosum L.*), cvs. Berkeley, Brigitta y Elliott durante la temporada 2005-2006. *Idesia (Arica)*, 28(1), 79-84p.
- García, J.; García, G., y Ciordia, M. 2013. Situación actual del cultivo de arándano en el mundo. *Tecnología alimentaria*. 12p.
- Glocek J., Komosa A. 2013. Fertigation of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum L.*). Part I. the effect on growth and yield. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus*. 12 (3): 47-57p.
- Gómez, M., M., G. 2010. La poda en la productividad de arándano (*Vaccinium corymbosum L.*) en Michoacán. Tesis de Maestro en Ciencias en Horticultura. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 77p.
- González, G. A.; Ramos, J. J. M.; Ramos, J. Z. C.; Arredondo, J. L. O.; Chávez, L. T.; Tapia, P. V. y Reyes, S. E. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31 (4): 367 – 374p.
- Goykovic Cortés, V., y Saavedra del Real, G. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*, 25(3), 47-58p.
- Hart, J. M., Strik, B., White, L., y Yang, W. 2006. Nutrient management for blueberries in Oregon. Corvallis, Or.: Extension Service, Oregon State University.

- Hernández, H. D. 2014. Estudio nutrimental de arándano azul (*Vaccinium corymbosum L.*) cv. Biloxi en Los Reyes, Michoacán. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de Mexico. 97p.
- Herrera, A. L. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra*, 17(3), 221-229p.
- Hewitt, E. J. (1996). *Sand and Water Culture Methods Used in the Study of Plant Nutrition*. Technical Communication No. 22. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Malling, Maidstone, Kent, England.
- Juárez Hernández, M., Jesús, D., Baca Castillo, G. A., Lorenzo, A., Navarro, A., Sánchez García, P., Tirado Torres, J., R., Sahagún Castellanos, J. y Colinas De León, M. T. (2006). Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia*, 31(4), 246-253.
- Kader, A. A. 1997. Fruit maturity, ripening, and quality relationships. In *International Symposium Effect of Pre- & Postharvest factors in Fruit Storage* 485. 203-208p.
- Kepenek, K., & Koyuncu, F. 2000. Studies on the salt tolerance of some strawberry cultivars under glasshouse. In *International Symposium on Techniques to Control Salination for Horticultural Productivity* 573. 297-304p.
- Lanz Piedra, A., y González Cepero, M. C. 2013. La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42p.
- Machado R. M. A., Bryla D. R., Vargas O. 2014. Effects of Salinity Induced by Ammonium Sulfate Fertilizer on Root and Shoot Growth of Highbush Blueberry. *Proc. Tenth Int. Symp. on Vaccinium and Other Superfruits*. Eds.: O van Kooten and F. Brouns. *Acta Hort.* 1017: 407-414p.
- Mesa Torres, P. A. 2015. Algunos aspectos de la fenología, el crecimiento y la producción de dos cultivares de arándano (*Vaccinium corymbosum L. x V. darowii*) plantados en Guasca. Cundinamarca, Colombia. Trabajo de grado para obtener el título de Biólogo. Universidad Militar Nueva Granada. 90p.

- Mingeau, M., Perrier, C., y Améglio, T. 2001. Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry. *Scientia Horticulturae*, 89(1), 23-40p.
- Pannunzio, A.; Vilella, F.; Texeira, P. y Premuzik, Z. 2011. Impacto de los sistemas de riego por goteo en arándanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande*, 15(1), 03-08p.
- Pérez, A. R. y Quintero, E. M. 2015. Funciones del calcio en la calidad poscosecha de frutas y hortalizas: una revisión. *Alimentos Hoy*, 23(34), 13-25p.
- Rivaneira, M. F. 2012. Concentración de nutrientes en hojas de diferente estado de desarrollo en arándano. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 38(3), 247-250p.
- Rodríguez, M., y Florez, V. 2004. Elementos esenciales y beneficiosos. *Ferti-riego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura*. 25-36p.
- Rosen, C. J., Allan, D. L., y Luby, J. J. 1990. Nitrogen form and solution pH influence growth and nutrition of two *Vaccinium* clones. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 115(1), 83-89p.
- Sánchez, García, P. 2009. Nutrición de zarzamora, frambuesa y arándano. In: II Simposium Nacional de Producción Forzada en Frutales. I Curso de Producción Forzada en Frutillas y Durazno. Colegio de Posgraduados Campus Montecillo. 25 de noviembre de 2009. Montecillo, Estado de México. 83-89p.
- Sánchez-García, P. 2016. Comunicación personal. Colegio de Posgraduados.
- Segal BG (1989) *Chemistry: Experiment and Theory*. Wiley. Nueva York, EEUU. 1008 pp.
- Strik B. C., Vance A. J. 2015. Seasonal Variation in Leaf Nutrient Concentration of Northern Highbush Blueberry Cultivars Grown in Conventional and Organic Production Systems. *HortScience*: 1453-1466p.
- Santoyo, L. F. R., Erreguerena, J. M., y Serrano, F. R. D. 2011. Efecto de diferentes concentraciones de potasio en parámetros de calidad en jitomate hidropónico. *Acta Universitaria*, 21(1), 5-10p.

- Shen J; Lixing Y; Junling Z; Haigang L; Zhaohai B; Xinping C; Weifeng Z; Fusuo Z. (2011). Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. Plant Physiology. 156: 997–1005p.**
- Saftner, R., Polashock, J., Ehlenfeldt, M., y Vinyard, B. 2008. Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. Postharvest Biology and Technology, 49(1), 19-26p.**
- SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Atlas Agroalimentario 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 233 p.**
- Someveld C. y W. Voogt. 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer London New York. 430 p.**
- Soria, C. B. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas. Sèrie Divulgació Tècnica. Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. 110 p.**
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil, 15 (2): 134-154p.**
- Steiner, A.A. 1968. Soilles culture. pp. 324-341. In: Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy.**
- Trejo, T., L. I., y Gómez, M., F. C. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. Hydroponics– a standard methodology for plant biological researches, 1-2.**
- Universidad de California: Agricultura y Recursos Naturales. 2018. ANR. Publicación 830p.**
- Vargas, C. S., García, P. S., Volke-Haller, V., y León, M. T. B. C. 2018. Respuesta agronómica de arándano ("Vaccinium corymbosum" L.) al estrés osmótico. Agrociencia, 52(2), 231-239p.**
- Willadino, L. G. y Câmara, T. R. 2005. Aspectos fisiológicos do estresse salino em plantas. Estresses ambientais: danos e beneficios em plantas. UFRPE, Imprensa Universitária, Recife, 118-126p.**
- Vidal I., Amaro J., Venegas A. 1999. Evolución estacional de nutrientes y estimación de la extracción anual en arándano ojo de conejo (Vaccinium ashei R.). Agricultura Técnica (Chile). 59: 309-318p.**

Zapata, L. M., Malleret, A. D., Quinteros, C. F., Lesa, C. E., Vuarant, C. O., Rivadeneira, M. F., y Gerard, J. A. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, docencia y tecnología*, (41), 159-171p.